aci avances en ciencias e ingenierías

Artículo/Article
Sección C/Section C
Vol. 14, nro. 2
ID: 2600

Análisis de la contaminación por metales pesados en la ciudad de Cuenca mediante el uso de bioindicadores

Johnny Beltrán[1], Juan M. Aguilar[1]

[1]Universidad del Azuay

Autor para Correspondencia / Corresponding Author, e-mail: jbeltranes@yahoo.es

Analysis of heavy metal contamination in the city of Cuenca through the use of bioindicators

Abstract

The objective of this study is to analyze the contamination of the environment due to heavy metals in the city of Cuenca using bee products as bioindicators, in parallel the suitability of bee products for domestic consumption and the usefulness of bee products to be used for monitoring the contamination of the environment in which the analyzed samples are located. For this study, samples of pollen, honey and beeswax were taken in nine apiaries located in the urban and peri-urban areas of the city, this in order to determine the concentration of four heavy metals: Lead (Pb), Cadmium (Cd), Zinc (Zn) and Copper (Cu) in the referred samples; and as a result, to analyze the concentrations of the heavy metals in reference to their location and for determining possible sources of concurrent contamination, as well as the safety of the products to be consumed in the human diet.

Keywords: hives, environmental pollution, heavy metals

Resumen

El objetivo de este estudio es analizar la contaminación del medio ambiente por metales pesados en la ciudad de Cuenca mediante el uso de productos apícolas en calidad de bioindicadores, paralelamente se determina la idoneidad de los productos apícolas para el consumo doméstico y la utilidad de los mismos para monitorear la contaminación del medio ambiente en el que se encuentran los apiarios analizados. En el trabajo se tomaron muestras de polen, miel y cera de abejas en nueve apiarios ubicados tanto en la zona urbana como periurbana de la ciudad con el fin de determinar la concentración de cuatro metales pesados: Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Zinc (Zn) y Cobre (Cu) en estas muestras; para posteriormente analizar estas concentraciones en referencia a su ubicación y determinar posibles fuentes de contaminación concurrentes, así como la seguridad de los productos a consumir en la dieta.

Palabras clave: colmenas, contaminación ambiental, metales pesados





Editado por / Edited by: Eva O.L. Lantsoght

Recibido / Received: 21/02/2022

Aceptado / Accepted: 19/08/2022

Publicado en línea / Published online: 12/12/2022

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i2.2600



INTRODUCCIÓN

Características biológicas de la abeja melífera

Los himenópteros con aguijón (*Hymenoptera: Aculeata*), comprenden aproximadamente 20.000 especies a nivel mundial [1] y alrededor de las 13.300 especies descritas se encuentran en la Región Neotropical [2], y su importancia para los ecosistemas y el hombre es invaluable [3], siendo el principal grupo de polinizadores de las angiospermas en el Neotrópico. Las abejas han desarrollado diferentes comportamientos sociales para lograr las condiciones necesarias para facilitar la recolección de recursos tales como polen, néctar y aceites a través del forrajeo, con los cuales generan productos indispensables para su supervivencia [1].

Contaminación del medio ambiente

Actividades antropogénicas tales como la industria, la agricultura, el transporte motorizado y la generación de energía eléctrica, liberan al medio ambiente subproductos tóxicos que afectan a los ecosistemas y a los seres humanos [4]. Los subproductos tóxicos liberados se emplazan en los compartimentos de la biósfera (agua, aire, suelo) y posteriormente son absorbidos en la cadena trófica, afectando, (en mayor o menor medida en función de las concentraciones de contaminantes,) a los ecosistemas y finalmente a los seres humanos que se alimentan de la cadena trófica y tienen contacto con los compartimientos de la biósfera.

Contaminación del suelo y absorción de sus elementos constitutivos y contaminantes por las plantas

Los elementos constitutivos del suelo, así como trazas de materiales contaminantes pueden migrar ascendentemente por absorción de la vegetación [5]. La persistencia de contaminantes en el suelo es mucho más prolongada que en otros compartimentos de la biósfera, y la contaminación del suelo, especialmente por trazas de metales, parece ser virtualmente permanente. Los metales acumulados en el suelo se agotan lentamente por lixiviación, absorción de plantas, erosión o deflación [6].

El contenido de metales pesados en las raíces de las plantas está relacionado directamente con el contenido de estos metales en el suelo [6]; sin embargo, la translocación del Pb desde las raíces a los brotes de la planta es muy limitada (solamente 3 %) [7]. Varios parámetros del suelo y la planta afectan la translocación de los contaminantes desde el suelo a los brotes de la zona superior [6]. Se ha determinado que existen efectos antagónicos y efectos estimulantes que se producen entre metales pesados para la translocación desde el suelo a la parte superior de la planta: existe un efecto estimulante del Pb sobre la absorción del Cd, se ha determinado un antagonismo del Zn sobre la absorción del Pb, Cd y Cu; finalmente, existe un efecto inhibidor recíproco de absorción entre Cu y Zn [6].

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i2.2600



Los fertilizantes con macronutrientes son fuentes ubicuas de insumos de metales pesados en los suelos agrícolas en la mayor parte del mundo, excepto en algunos de los países en desarrollo más pobres donde se utilizan pocos fertilizantes [8]. Zineb, un compuesto orgánico de Zn ($C_4H_6N_2S_4Zn$) y Maneb, un compuesto orgánico de Mn ($C_4H_6MnN_2S_4$), también se utilizan como fungicidas de aplicación foliar en los cultivos, pero los aportes de Zn y Mn de estas fuentes no son tan grandes como los de Cu, Pb y As utilizados en tratamientos fungicidas de años anteriores, aunque los dos últimos elementos no se utilizan ahora como agroquímicos [9]. Los abonos provenientes de animales (estiércol) son otra fuente ubicua de metales pesados, las cantidades de elementos que se agregan al suelo están en función de la alimentación de los animales, el contenido de Zn y Cu en los alimentos proporcionados a los animales domésticos criados para alimentación es bastante alto [8]. Las altas concentraciones de metales pesados contenidos en lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales son una limitación importante en la aplicación de estos lodos a los suelos en calidad de fertilizantes [8].

Contaminación de los productos apícolas

Las abejas melíferas pueden capturar contaminantes difundidos en el aire o depositados en la superficie de las plantas o absorbidos por estas desde el suelo, o pueden asimilar los contaminantes ubicados en el agua [10]. La miel de la abeja melífera, se genera del forrajeo de néctar en las flores y es procesada por dichos insectos, en consecuencia, contiene las menores concentraciones de contaminantes [11, 12]. El polen por otro lado ha demostrado ser un buen bioindicador de contaminación por metales pesados y pesticidas en la vegetación [13], en la cera se han encontrado altas concentraciones de metales pesados y aunque no es consumida en la alimentación, puede funcionar brindando información sobre la contaminación ambiental [11].

Uso de los productos apícolas como bioindicadores de calidad ambiental

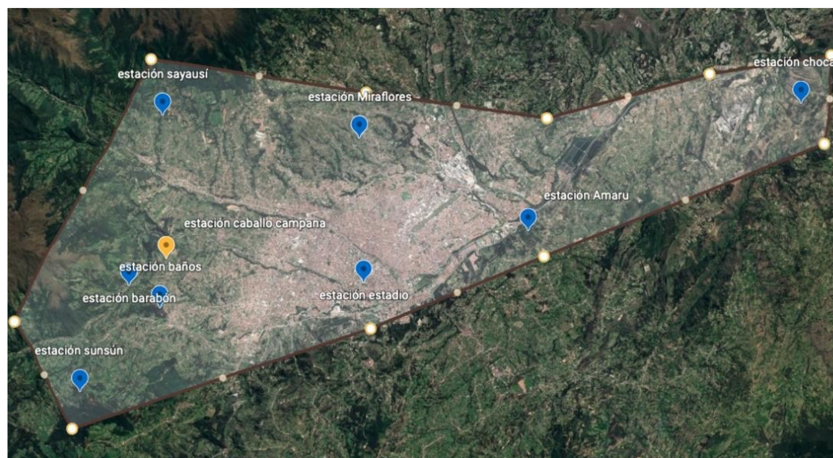
Existe unanimidad en la utilización de los productos de las colmenas como indicadores biológicos de contaminación [11,14]. La abeja melífera (*Apis mellifera*), una especie introducida en América, actualmente cosmopolita, es el insecto más estudiado del planeta y se la cultiva por su buena producción de miel y otros productos apícolas (apicultura), resultando fácil detectar cualquier anormalidad tanto en su biología como en su comportamiento [15]. En la actualidad, la apicultura, es una actividad afectada por los efectos adversos de la contaminación atmosférica, el intenso uso de pesticidas y la disminución de la flora [16].

METODOLOGÍA

El trabajo investigativo fue realizado en la ciudad interandina de Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador. Se colectaron muestras de polen, cera y miel de diferentes colmenas alrededor de la ciudad; conjuntamente con apicultores locales, en el periodo de septiembre a noviembre del año 2020. Las colmenas estuvieron ubicadas en la zona urbana y periurbana de la ciudad (Fig. 1).

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i2.2600

aci
avances
en ciencias e
ingenierías



Figur 1. Mapa de la zona de estudio y ubicación de las colmenas de monitoreo

Se acompañó la cosecha de 9 apiarios, revisando colmenas localizadas en un rango altitudinal entre 2400 a 3100 m s.n.m. colectando miel, cera y polen en cada una. El área de estudio tiene una extensión de 176,95 km^2, se escogieron zonas de variado uso de suelo: vegetación nativa, alto tráfico vehicular, producción agrícola y pecuaria y una zona cercana a una planta termoeléctrica existente.

Las muestras colectadas fueron deshidratadas a 50 °C durante una semana, una vez secas se pesaron y luego fueron calcinadas a 400 °C por cuatro horas para la obtención de cenizas, las mismas que fueron digeridas en ácido nítrico (HNO_3 diluido al 50 %) a temperatura ambiente. Posteriormente, se filtraron las muestras y se aforaron con agua destilada a un volumen conocido (50 ml, recomendado) para hacer la especiación en el espectrofotómetro de absorción atómica [17]. El espectrofotómetro fue calibrado para establecer las trazas de Cu, Pb, Cd y Zn a diferentes longitudes de onda para cada elemento. Se realizó una curva de calibración de las concentraciones de cada uno de estos metales pesados para establecer mediante un análisis de regresión las concentraciones de partes por millón (ppm) de estos en las muestras.

Se analizaron los resultados de las concentraciones de Pb, Cd, Zn y Cu en los productos apícolas con la finalidad de determinar su aptitud alimenticia y la contaminación ambiental producida por estos metales en la ciudad, así como posibles fuentes de contaminación.

Para determinar la aptitud alimenticia de los productos apícolas, en relación a la concentración de Pb y Cd se realizó un estudio comparativo de las concentraciones de los metales versus los contenidos máximos permitidos en el Códex Alimentarius (Tabla 1).

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i2.2600

aci avances en ciencias e ingenierías

Tabla 1. Valores de referencia toxicológica para Pb y Cd

Metal pesado	Contenido de metales pesados en los productos apícolas de apiarios		
	Brasil	Suiza	Polonia
Pb			0,1
Cd	0,1	0,03	0,1

En relación al contenido de Zn y Cu se realizó el análisis de la concentración determinada de estos metales versus la ingesta máxima diaria de estos metales recomendada [18]. Para el efecto se desarrolló un análisis hipotético de un alto consumo diario de miel y polen con las máximas concentraciones detectadas para determinar si la ingesta de Zn y Cu están por debajo de la ingesta máxima diaria recomendada.

Con el objeto de analizar la contaminación ambiental por los metales pesados estudiados en la ciudad de Cuenca, además de un análisis directo de las concentraciones en las muestras de productos apícolas extraídos de apiarios ubicados en diferentes zonas de la ciudad cotejando estas concentraciones con las actividades antrópicas que se observan en las mismas zonas; se realizó un estudio estadístico correlacional entre las concentraciones determinadas y concentraciones de otros contaminantes determinados en cuerpos de agua en un monitoreo continuo que ejecuta la Empresa Pública Municipal de Teléfonos, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental de la Ciudad de Cuenca; ETAPA EP [19].

RESULTADOS

Los resultados muestran la situación de cada uno de los metales analizados en el contexto de la apicultura en la ciudad de Cuenca y su incidencia en los ecosistemas. Se entiende que la ubicación geográfica de una colmena definirá la calidad de su miel [20]; con base a ello, se analizó la situación de la apicultura en la ciudad interandina de Cuenca. La apicultura local considera importante esta información para mejorar la calidad de la práctica apícola y su producción. Se considera de extrema importancia para los apicultores conocer, localizar y excluir estas fuentes de contaminación de la miel [21].

Un estudio previo demostró que el polen es un buen indicador para contaminación por Cd y Pb, concluyendo que los niveles de contaminación en los productos de las colmenas de la ciudad de Cuenca no sobrepasan los límites establecidos para causar efectos adversos en la salud humana. Se comprobó, además, que el polen es un buen indicador para contaminación por Cd y Pb [22].

Concentraciones de Pb, Cd, Zn y Cu en productos apícolas analizados

En el presente estudio se determinó la presencia de Pb en cuatro muestras; Zn en veinte muestras; Cu en veintiún muestras y no se ha detectado la presencia de Cd en ninguna de las muestras. La Fig. 2 presenta los resultados de la concentración de metales pesados determinadas en los diferentes productos apícolas.

DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i2.2600

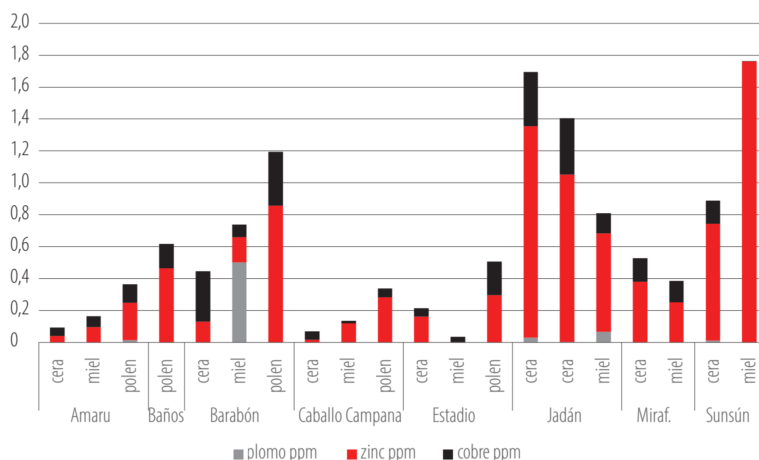


Figura 2. Contenido de metales pesados en los productos apícolas de apiarios

La ausencia de Cd concuerda con la literatura, donde se han descrito bajas concentraciones de este metal en muestras que tienen concentraciones insalubres de otros metales en los productos de las colmenas [23-25]. Dado que Aguilar et al. (2011) [22] señalan la presencia de Cd en muestras de la ciudad de Cuenca, es probable que su concentración local se modificó o está en muy bajas concentraciones. Sin embargo, otro fundamento sería que, la relativamente alta concentración de Zn encontrado en la mayoría de las muestras, reduce la absorción de Cd tanto por el sistema radicular como por la parte superior de las plantas [6].

Excepto una muestra de miel, todas las otras contienen Pb, que está por debajo del umbral de toxicidad para el consumo humano. En todas las muestras analizadas existe concentración simultánea de Zn y Cu, excepto en dos casos; las concentraciones más altas se dan en las muestras de polen, se registran altas concentraciones de Zn en miel de abejas en la ciudad de Cuenca, superiores a las establecidas en la ciudad de Quito [25]. Existe antagonismo Zn-Pb que afecta adversamente la translocación de cada elemento de las raíces a las puntas de las plantas [6], esto podría explicar la reducción del Pb en los productos de las colmenas frente a información de 2011 [22].

Análisis estadístico de resultados

La Tabla 2 muestra los resultados del coeficiente de correlación de Pearson determinado entre concentraciones de diferentes parámetros de contaminación de cuerpos de agua (ETAPA EP) [19] y las concentraciones de Zn y Cu en zonas cercanas entre apiarios y estaciones de monitoreo de ETAPA EP.

DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i2.2600



Tabla 2. Coeficientes de correlación Pearson: contaminación de cuerpos de agua Vs. resultados de concentración de Zn y Cu en productos apícolas

Parámetro calidad en agua	Zn	Cu
turbiedad	0,48	0,58
fósforo total	0,47	0,56
color aparente	0,45	0,36
OB05	0,43	0,63
aluminio	0,40	0,61
hierro	0,38	0,62
sólidos totales	0,35	0,59
coliformes fecales	0,26	0,56
conductividad	0,26	0,56
manganeso	0,22	0,53
Nitratos + Nitritos	-0,21	-0,06
pH	-0,31	-0,21
saturación 02 disuelto	-0,35	-0,18
WQI	-0,36	-0,61

Del análisis de la Tabla 2 se pueden establecer los siguientes parámetros de correlación:

- La correlación relativamente alta entre el contenido de Zn y Cu de las muestras analizadas en relación a los parámetros físicos de calidad del agua (turbiedad, color y sólidos totales), se debería al arrastre de partículas de suelo contaminado con Zn y Cu en situaciones de precipitación atmosférica. Los suelos contendrían Zn y Cu provenientes de las actividades agrícolas y pecuarias, este escenario confirmaría la contaminación producida por dichas actividades y el uso de agroquímicos y abonos animales (estiércol) relacionados con la contaminación de estos dos metales.

- La carga orgánica en los cuerpos de agua correlacionada con la concentración de Zn y Cu en las muestras analizadas, confirmaría el uso de abonos animales (estiércol) en las actividades agropecuarias. Debido a que existe anticorrelación entre el contenido de Zn y Cu de los productos apícolas en referencia a la saturación de oxígeno disuelto, se puede intuir que la carga orgánica adicionada a los cuerpos de agua es relativamente baja y no consumiría los recursos de oxígeno disuelto de los cuerpos de agua.

- Finalmente, la correlación media entre la concentración de Zn y Cu en las muestras analizadas y la concentración de fósforo en los cuerpos de agua y la anticorrelación entre dichos cuerpos y la concentración de nitritos y nitratos, sería un indicador del uso de fertilizantes fosfáticos en mayor medida que fertilizantes nitrogenados.

Para analizar los efectos antagónicos o estimulantes que se producen entre metales pesados para la translocación desde el suelo a la parte superior de la planta, se han determinado

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i2.2600



coeficientes de correlación de Pearson entre la concentración de los metales pesados analizados determinados en el presente trabajo. En la Tabla 3 se muestran los coeficientes de correlación de Pearson determinados entre las concentraciones de Zn y Cu.

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Pearson entre Zn y Cu determinados en muestras de productos apícolas

Producto	Metales	Coeficiente Pearson
cera	zn-cu	0,76
polen	zn-cu	0,70
todos	zn-cu	0,07
miel	zn-cu	-0,59

Coef. medio-alto en cera y polen

Coef. negativo en miel (traslocación)

En la Tabla 3 se observa un coeficiente de correlación negativo entre Zn y Cu, exclusivamente en miel. Esto se debería al efecto antagónico entre estos dos metales para la translocación desde las raíces de las plantas a su parte superior en donde se encuentra el néctar tomado por las abejas.

En la Tabla 4 se muestran los coeficientes de correlación de Pearson determinados entre las concentraciones de Zn, Cu y Pb exclusivamente en productos en que se determinó la presencia de Pb.

Tabla 4. Ccoeficientes de correlación de Pearson entre metales pesados determinados en muestras de productos apícolas (exclusivamente productos en los que se determinó presencia de Pb)

Producto	Metales	Coeficiente Pearson
miel	zn-cu	1,00
cera	zn-cu	0,91
todos	zn-cu	0,89
cera	pb-zn	0,28
cera	pb-cu	-0,15
todos	pb-zn	-0,60
todos	pb-cu	-0,68
miel	pb-cu	-1,00
miel	pb-zn	-1,00

Coef.alto Zn-Cu (incluso en miel (traslocación))

Anticorrelación Pb-Zn,Cu (antagonismo)

En la Tabla 4 se observa una perfecta correlación Zn-Cu en miel, cuando existe una anticorrelación perfecta entre Pb-Cu y Pb-Zn; esto se debería a que la presencia de plomo estaría anulando los efectos antagónicos Zn-Cu para la translocación de estos dos metales pesados desde las raíces a la parte superior de la planta donde se localiza el néctar que las abejas toman para generar la miel. El Zn y el Cu estarían produciendo un efecto antagónico en la translocación del Pb.

DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i2.2600



CONCLUSIONES

Los resultados de la concentración de Pb, Zn y Cu en las muestras de productos apícolas, indican que existen trazas de estos elementos contaminantes en los compartimientos de la biósfera en la ciudad de Cuenca (o en parte de estos): aire, suelo y agua.

En la ciudad de Cuenca la actividad industrial estaría contaminando los suelos en forma muy baja y exclusivamente en las zonas aledañas al área industrial [26], razón por la cual la contaminación industrial no estaría incidiendo en las concentraciones de Pb, Cu y/o Zn en los diferentes productos apícolas registrados en el trabajo.

En ciertos sectores de la zona de estudio existe tráfico vehicular más o menos alto y en un sector se localiza una planta de generación termoeléctrica. La combustión de combustibles fósiles habría contaminando con Pb el medio ambiente en épocas en que los combustibles contenían tetraetilo de plomo como antidetonante (actualmente los combustibles ya no contienen Pb [27]).

En función de lo expuesto, se puede concluir que las concentraciones de Pb, Zn y Cu encontradas en las muestras de productos apícolas del presente estudio, provendrían del uso de agroquímicos y abonos de origen animal (estiércol) en las actividades agrícolas y ganaderas dentro de la zona de análisis, así como de la deposición de Pb en los suelos, desde una atmósfera contaminada en años anteriores por la combustión de combustibles fósiles que contenían tetraetilo de plomo.

Del análisis de concentración de Pb, Cd, Zn y Cu en los productos apícolas, se concluye que, para Pb y Cd, exceptuando una sola muestra de miel en la zona de Barabón, todas las muestras de productos tienen concentraciones de estos metales pesados que están por debajo de los límites de toxicidad determinados en el Códex Alimentarius, mientras que; para Zn y Cu, todas las muestras tienen concentraciones cuya ingestión no superará la ingesta máxima recomendada de estos metales pesados [18], incluso para consumo alto de productos apícolas en la alimentación diaria. El análisis del presente estudio contribuirá a mejorar la calidad de los productos de las colmenas [12]; se puede concluir que los productos de las colmenas alrededor de Cuenca no contienen concentraciones de de Pb, Cd, Zn y Cu que representen peligro para la salud humana.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Juan M. Aguilar gestionó el proyecto, analizó los datos y revisó el manuscrito, Johnny Beltrán escribió la propuesta, tomó las muestras, analizó los datos y redactó el manuscrito.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i2.2600

aci avances en ciencias e ingenierías

REFERENCIAS

[1] Roubik, D. (1989). *Ecology and natural history of tropical bees*. Cambridge University Press.

[2] Fernandez, C. F. (2002). Filogenia y Sistemática de los himenópteros con aguijón en la Región Neotropical (Hymenoptera: Vespomorpha). En C. Costa, S. A. Vanin, J. M. Lobo y A. Melic, *Proyecto Red Iberoamericana de Biogeografía y Entomología Sistemática PrIBES 2002*. Monografías Tercer Milenio (Vol. II, págs. 101-138). SEA.

[3] Lietaer, C. (18-23 de octubre de 2009, octubre 18-23). *Impacto de la apicultura en la conservación de los bosques, de los ecosistemas forestales y la reducción de la pobreza.* [Conferencia]. XII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, Argentina. http://www.cadamda.org.ar/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=418&Itemid=81

[4] van der Perck, M. (2014). *Soil and Water Contamination* (2.a ed.). CRC Press.

[5] Barišić, D., Bromenshenk, J.J., Kezic, N., Vertačnik, A., Devillers, J., y Pham-Delègue, M. (2002). The role of honey bees in environmental monitoring in Croatia. En J. Devillers, y M.-H. Pham-Delègue (Eds.), *Honey Bees: Estimating the Environmental Impact of Chemicals* (pp. 161-187). CRC Press. doi: https://doi.org/10.1201/9780203218655.

[6] Kabata-Pendias, A. (2011). Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press/Taylor & Francis Group. doi: http://doi.org/10.1017/S0014479711000743

[7] Zimdahl, R. L. (1976). Entry and movement in vegetation of lead derived from air and soil sources. *Journal of the Air Pollution Control Association, 26*(7), 655-660. https://doi.org/10.1080/00022470.1976.10470298

[8] Alloway, B. J. (2010). *Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (3.a ed.). Springer. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7

[9] Codling, E. (2007). Long-term effects of lime, phosphorus and iron amendments on water-extractable arsenic, lead and bioaccessible lead from contaminated orchard soils. *Soil Science, 172*(10), 811-819. doi: http://doi.org/10.1097/SS.0b013e3180dc9aa3

[10] Porrini, C., Ghini, S., Girotti, S., Sabatini, A., Gattavecchia, E. y Celli, G. (2002). Use of honey bees as bioindicators of environmental pollution in Italy. En J. Devillers, y M.-H. Pham-Delègue (Eds.), *Honey Bees: Estimating the Environmental Impact of Chemicals* (pp. 188-224). CRC Press. doi: https://doi.org/10.1201/9780203218655

[11] Formicki, G., Greń, A., Stawarz, R., Zyśk, B., y Gał, A. (2013). Metal Content in Honey, Propolis, Wax, and Bee Pollen and Implications for Metal Pollution Monitoring. *Polish Journal of Environmental Studies, 22*(1), 99–106. http://www.pjoes.com/Metal-Content-in-Honey-Propolis-Wax-r-nand-Bee-Pollen-and-Implications-for-Metal,88957,0,2.html

[12] Dżugan, M., Tomczyk, M., Sowa, P. y Grabek-Lejko, D. (2018). Antioxidant Activity as Biomarker of Honey Variety. *Molecules, 23*(8), 2069. https://doi.org/10.3390/molecules23082069

[13] Cabrera de Oliveira, R., do Nascimento Queiroz, S. C., Fernandes Pinto da Luz, C., Silveira Porto, R. y Rath, S. (2016). Bee pollen as a bioindicator of environmental pesticide contamination. *Chemosphere, 163*, 525-534. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.022

[14] Bargańska, Ż., Ślebioda, M. y Namieśnik, J. (2016). Honey bees and their products: Bioindicators of environmental contamination. *Critical reviews in environmental science and technology, 46*(3), 235-248. https://doi.org/10.1080/10643389.2015.1078220

[15] Gorza, G. E. (2007). *Biomonitoreo con Abejas. Estaciones Gemelas con Análisis Simultáneos.* Universidad Nacional del Sur: https://www.apiservices.biz/documents/articulos-es/biomonitoreo_con_abejas.pdf

[16] Rivera, J., Losada, H., Lopez, M., Cortes, J., Vieyra, J. y Grande, D. (2007). Sistema de producción de miel en las áreas peri-urbanas de Milpa Alta, sureste de Ciudad de México. *Livestock Research for Rural Development, 19*(2). http://lrrd.cipav.org.co/lrrd19/2/rive19029.html

[17] Fredes, C. y Montenegro, G. (2006). Contenido de metales pesados y otros elementos traza en mieles de abeja en Chile. *Ciencia e investigación agraria, 33*(1), 57-66. https://repositorio.uc.cl/handle/11534/8283

[18] National Institutes of Health, disponible en: https://ods.od.nih.gov/factsheets/Zinc-DatosEnEspanol/ y https://ods.od.nih.gov/factsheets/Copper-DatosEnEspanol/

[19] ETAPA E.P. (s.f.). *Monitoreo eco-hidrológico*. Recuperado en Agosto de 2021, de https://geo.etapa.net.ec/monitoreoecohidrologico/



[20] Mohammed Elimam, A. M. (2020). Factors Affecting the Physicochemical Properties and Chemical Composition of Bee's Honey. *Food Reviews International, 38*(6), 1330-1341. doi: https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1810701

[21] Suescún, L., y& Vit Olivier, P. (2008). Control de calidad de la miel de abejas producida como propuesta para un proyecto de servicio comunitario obligatorio. *Fuerza Farmacéutica, 1*(Año 12), 6-15. http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/16252

[22] Aguilar, J., Alvarez, P., Molina, P. y, & Zarate, E. (2011). Algunos productos de las colmenas de la Abeja melífera (*Apis mMellifera*) como indicadores para el monitoreo de metales pesados en el ambiente urbano de Cuenca. Universidad del Azuay. *Revista Universidad Verdad*, . Avances en la Ciencia y Tecnología.(54), 77-98. https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/2442

[23] Montiel, J., Marmolejo, Y., Castellanos, I., Pérez, F., Gaytán, J. y, & Fonseca, M. (2020). Niveles de cadmio, cromo y plomo en abejas (Apis mellifera) y sus productos en Hidalgo, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 7(1), 57-68. http://reibci.org/publicados/2020/jul/3900105.pdf

[24] Fakhimzadeh, K. y, & Lodenius, M. (2000). Heavy metals in finish honey, pollen and honey bees. *Apiacta*, 35(2), 85-95. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/1975/249/2000r-Apiacta.pdf?isAllowed=y&sequence=2

[25] Condor Salazar, F. (2015). Determinación de metales pesados en miel de abeja para su evaluación como indicador ambiental en zonas contaminadas, en la provincia de Ppichincha-Eecuador. Quito. [Tesis].: ESPE, Universidad de las Fuerzas Armadas. Obtenido de http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10886/1/T-ESPE-049241.pdf

[26] Tello, M. (2018). Determinación de las concentraciones de plomo y cadmio en suelos de sectores aledaños al parque industrial de la ciudad de Cuenca. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento, 2*(número especial mayo de 2018(ISSN: 2588-073X), 560-577. doi: http://doi.org/10.26820/recimundo/2.esp.2018.560-577

[27] ONU. Programa para el medio ambiente. (30 de agosto de 2021). El mundo pone fin a la era de la gasolina con plomo y elimina una grave amenaza para la salud humana y ambiental. *ONU. Programa para el medio ambiente.* Obtenido de https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-pone-fin-la-era-de-la-gasolina-con-plomo-y